烟草水浸提液对葡萄根瘤蚜侵染危害的控制效应

张 蕾,孙永江,孙鲁龙,杜远鹏,翟 衡*

(山东农业大学园艺科学与工程学院,作物生物学国家重点实验室,山东泰安 271018)

摘要:【目的】检疫害虫葡萄根瘤蚜 *Daktulosphaira vitifoliae* 已经在我国多个地区葡萄园发现为害,直接影响葡萄生长;前期实验发现烟草水浸提液可有效控制离体根上根瘤蚜的存活率,本研究进一步开展盆栽验证,探讨烟草水浸提液对葡萄根瘤蚜侵染的控制效应及葡萄植株生长抑制的缓解作用。【方法】以两年生温室盆栽'巨峰'自根苗为实验材料,接种根瘤蚜虫卵 35 d 后进行烟草水浸提液处理,处理后测定供试植株的根结数、生长量、根系活力、叶片光合速率及叶绿素荧光等指标。【结果】20 mg/mL 和 50 mg/mL 的烟草水浸提液对根瘤蚜均有一定程度的抑制作用,施药 21 d 后,葡萄根部的新增根结数分别比侵染对照下降了 42.9% 和 52.8%。烟草水浸提液处理还在一定程度上缓解了根瘤蚜侵染对植株的光合能力和荧光的抑制作用。20 mg/mL 和 50 mg/mL 烟草水浸提液处理的株高分别比侵染对照提高了 57.1% 和 7.7%;根瘤蚜侵染降低了土壤中真菌、细菌和放线菌的数量,烟草水浸提液处理进一步降低了真菌和放线菌的数量,降低了由微生物带来的次生侵染几率。【结论】烟草水浸提液对葡萄根瘤蚜的侵染具有控制效果,并可对葡萄根瘤蚜侵染已造成的寄主危害有一定的缓解作用。

关键词:葡萄根瘤蚜;葡萄;烟草;水浸提液;控制效应;植物生长;光合效率;叶绿素荧光

中图分类号:Q966 **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2014)12-1402-06

Control effects of aqueous extracts of tobacco on grape phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae*) infection and damage

ZHANG Lei, SUN Yong-Jiang, SUN Lu-Long, DU Yuan-Peng, ZHAI Heng* (State Key Laboratory of Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract:【Aim】Grape phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae*) has been found in some vineyards in China and caused serious damage. Our previous research found that aqueous extracts of tobacco could control the damage of *D. vitifoliae* on excised roots. The aim of this research was to evaluate the control efficacy of aqueous extracts of tobacco towards grape phylloxera infection and grape growth.【Methods】Two year-old Kyoho grapes were chosen as the test materials in the greenhouse, and the root activity, overground growth amount, number of nodosities and photosynthesis rate of the grape were determined.【Results】The results showed that aqueous extracts of tobacco had certain alleviating effects on phylloxera infection. Both the aqueous extracts of tobacco at the concentration of 20 mg/mL and 50 mg/mL had an inhibition to phylloxera infection. At 21 d after the aqueous extracts of tobacco were applied, the number of nodosities of the grape in the treatments with 20 mg/mL and 50 mg/mL aqueous extracts of tobacco decreased by 42.9% and 52.8% as compared with that of the phylloxera infected grapes (the infection control). Compared to the infection control, plant growth amount in the treatments with 20 mg/mL and 50 mg/mL aqueous extracts of tobacco increased by 57.1% and 7.7%, respectively. Grape phylloxera infection decreased the microorganism amount in the soil; however, the aqueous extracts of tobacco decreased the amount of fungi, which could decrease the secondary infection possibility of microorganisms.【Conclusion】Aqueous extracts of tobacco have a control effect on grape phylloxera and can ease the damages caused by phylloxera infection in potted tests.

Key words: Grape phylloxera; grape; tobacco; aqueous extracts; control effect; plant growth; photosynthesis rate; chlorophyll fluorescence

---

基金项目:国家自然科学基金项目(30871680, 31201609)

作者简介:张蕾,女,1987 年生,安徽亳州人,博士研究生,研究方向为葡萄抗逆生理,E-mail: nculeilei@163.com

*通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhaih@sdau.edu.cn

收稿日期 Received: 2014-03-21;接受日期 Accepted: 2014-10-27

葡萄根瘤蚜 *Daktulosphaira vitifoliae* 属同翅目瘤蚜科，是一种毁灭性的专性寄生害虫。根瘤蚜侵害葡萄时，首先定点刺吸寄主的新根，发生肿胀，形成菱形或鸟头状根结。根结的形成会影响葡萄植株内部的水分及营养物质的传递和吸收，导致树势衰退，产量下降，土壤中的有害真菌还会随着伤口进入根系造成二次侵染（Omer *et al*., 1995；Edwards *et al*., 2007）。

自 2005 年我国上海再次发现根瘤蚜为害，目前已经在全国较大范围内，如湖南、陕西、辽宁等地陆续发生，可以预见，未来将有更多葡萄园受到根瘤蚜的威胁，在不即刻刨除葡萄植株的情况下，如何控制根瘤蚜的扩散，维持葡萄植株一定年限的商品性生产，减少果农的投资损失，将是我国科技工作者面临的重大挑战。从 19 世纪葡萄根瘤蚜入侵欧洲开始，人们就尝试着寻找一种有效控制葡萄根瘤蚜的化学方法，但由于根瘤蚜在地下分布很深，繁殖速度极快，同时还要顾忌到化学杀虫剂对葡萄植株的为害，许多因素使得化学杀虫剂在控制葡萄根瘤蚜时效果不佳，因此，人们仅仅用一些化学熏蒸剂如 DD 混剂对刨除衰弱葡萄植株后的土壤消毒（Benheim *et al*., 2012）。

随着科技进步和食品安全要求的不断提高，生物防治已经在公共植保中担当了越来越重要的作用，很多生物制剂如苏云英芽孢杆菌 Bt 晶体、枯草芽孢杆菌、苦参碱等已投入生产应用，在防治小菜蛾 *Plutella xylostella*、小叶蝉、根结线虫等害虫上已经有成功应用的例子（王晋华等，2005；翁群芳等，2006；蒋妮等，2007；余洁，2008）。笔者前期进行了针对葡萄根瘤蚜的植物源生物制剂筛选工作，在实验室前期离体接种实验中发现，一定浓度的烟草水浸提液对根瘤蚜表现出良好的控制作用，且有研究表明烟碱制剂具有低毒，低残留，选择性高等特点，对水体无污染（夏冬，2005）。烟碱制剂对地下部害虫如根结线虫具有很好的防治效果，并已有商品化药剂出售。本研究以温室内的盆栽葡萄为实验材料，探讨烟草水浸提液（以下简称“烟草浸提液”）对根瘤蚜侵染的控制效应及其对植株生长的影响。

1　材料与方法

1.1　实验用葡萄植株种植及接虫处理

寄主植物为两年生巨峰葡萄自根苗。实验于 2013 年在山东农业大学温室内进行，白天最高光强为 1 000 μmol/m^2 · s，白天最高温度为 28℃，夜间最低温度为 20℃，相对湿度为 40% ～50%。将葡萄苗种植在直径 30 cm 无孔花盆中，按照草炭、蛭石和壤土 3.5∶1∶1.5（m/m）混配培养基质。待植株长至 7 片叶时，取实验室培养皿内离体繁殖的 5～6 d 的根瘤蚜（种源为西安灞桥类型）卵 100 粒接种在根际嫩根处，共接种 15 盆；另设 5 盆不接种盆为对照。接种后每株罩塑料袋以防止水分挥发；花盆置于垫有砖头的水池中，以防根瘤蚜逃逸。视土壤含水量定期浇水。

1.2　烟草浸提液的制备

取来自山东农业大学植保站的新鲜烟草叶片，通风处晾干粉碎后过 20 目筛（孔宽为 0.83 mm），取 500 g 烟草于 500 mL 蒸馏水中沸水浸提 30 min，经双层纱布和中速定性滤纸过滤后取上清液，定容至 500 mL，4℃冰箱中保存为储备液，然后稀释成 20 和 50 mg/mL 的浸提液 。

1.3　烟草浸提液浇灌葡萄植株实验

预实验结果证明 50 mg/mL 的烟草浸提液处理 3 周对葡萄生长量及光合能力没有显著的伤害。因此本研究实验处理如下：接种 35 d 后开始进行烟草浸提液处理，每隔 3 d 对根瘤蚜侵染盆分别定量浇灌 300 mL 不同浓度的烟草浸提液［0 mg/mL（T1）（侵染对照），20 mg/mL（T2），50 mg/mL（T3）］，非侵染对照盆栽（CK）每 3 d 以等量水浇灌，共处理 21 d；每个处理和对照各 5 个重复。

1.4　浇灌处理后测定指标及方法

分别在处理的第 0，1，7，14 和 21 天，各处理盆均使用直径为 2 cm 的取土器在距离植株半径 5 cm 处取 5～10 cm 处土样，每盆取样 3 份，同一处理的 5 盆土壤混合后作为一个样品，置于 4℃冰箱保存，测定土壤微生物特定种群菌落数；在处理的第 0，1，7，14 和 21 天测定葡萄叶片的光合及叶绿素荧光特性；在处理的第 10 和 21 天，测定植株株高，新梢长度；处理后的第 22 天将苗子完整取出，观察统计各处理根结数目（杜远鹏等，2008），测定根系活力。

1.4.1　土壤微生物菌落数测定方法：真菌采用马丁氏培养基，细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基，放线菌采用淀粉铵琼脂培养基。采用稀释平板法，在涂板后的第 5 天按照菌落形成单位计数（周德庆，2006）。

1.4.2　葡萄叶片光合速率及叶绿素荧光参数的测

定：选取枝条中部同一节位的成熟叶片，光合速率用 CIRAS-2(PP Systems，英国)便携式光合仪于晴天上午 9:00 -11:30 进行测定，控制光强为 1 000 $\mu mol/m^2 \cdot s$，CO_2 浓度为 380 μL/L，温度为 26℃，测定参数包括净光合速率 *Pn*、气孔导度 *Gs*、蒸腾速率 *Tr*；同时，利用 FMS-2 型脉冲调制式荧光仪(Hansatech，英国)进行叶绿素荧光参数的测定，测定程序如下：首先对胁迫前的叶片进行 30 min 暗适应，打饱和脉冲光(12 000 $\mu mol/m^2 \cdot s$)，测定暗适应下的最大荧光值 *Fm*。对光适应下的叶片先打 60 s 作用光(800 $\mu mol/m^2 \cdot s$)，打极弱的测量光(< 0.05 $\mu mol/m^2 \cdot s$)测得叶片最小荧光值 *Fo′*，再打饱和脉冲光(12 000 $\mu mol/m^2 \cdot s$)，测定光适应下的最大荧光值 *Fm′*，打开作用光测定光下稳态荧光 *Ft*。各荧光参数意义及计算公式如下：电子传递速率 $ETR = 0.5 * 0.84 * \Phi PSII * PFD$,其中 ΦPSII 为实际光化学效率,PFD 为光合有效辐射值；非光化学淬灭 $NPQ = Fm/Fm' - 1$。

1.4.3 根系活力测定方法：取出葡萄苗，将根部清洗干净，分别取根系先端根系 1 g，采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法进行测定，用四氮唑的还原强度(μg/g·h)表示根系活力(赵世杰等，2002)。

1.5 数据统计分析

文中全部数据均使用 DPS v 7.05 软件进行单因素方差分析，并进行 LSD 多重比较标注差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 烟草浸提液对葡萄根结形成的抑制作用

由图 1 可知，烟草浸提液显著抑制了根瘤蚜的繁殖侵染，表现为烟草浸提液处理显著降低了葡萄根结数量，并随烟草水浸提液浓度的升高抑制效果显著，20 mg/mL 和 50 mg/mL 烟草浸提液处理后植株的根结数明显少于未施用烟草浸提液的侵染对照，根结数分别下降了 42.9% 和 52.8%。

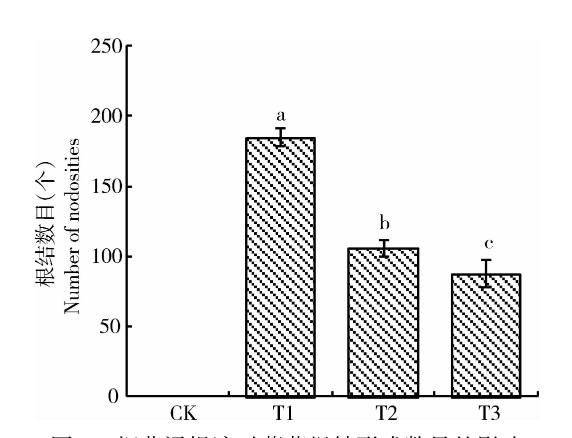


图 1 烟草浸提液对葡萄根结形成数量的影响

Fig. 1 Effects of aqueous extracts of tobacco on the number of nodosities in roots of Kyoho grape

T1：接虫(葡萄根瘤蚜)，浇水处理(侵染对照) *Daktulosphaira vitifoliae* infected grape plant with water irrigation (infection control)；T2：接虫，20 mg/mL 烟草浸提液浇灌处理 *D. vitifoliae* infected grape plant applied with 20 mg/mL aqueous extracts of tobacco；T3：接虫，50 mg/mL 烟草浸提液浇灌处理 *D. vitifoliae* infected grape plant applied with 50 mg/mL aqueous extracts of tobacco；CK：未接虫，浇水处理(非侵染对照) Non-infected grape plant with water irrigation (non-infection control)。柱上不同小写字母表示不同处理组间的显著差异(LSD 检验，$P < 0.05$)；下图同。Different lowercase letters above bars indicate significant difference between treatments (LSD test, $P < 0.05$). The same for the following figures.

2.2 烟草浸提液对葡萄根瘤蚜感染植株生长抑制的缓解作用

2.2.1 对根系活力的影响：根系活力是反映植物地下部主动吸收能力的重要指标。根系活力的测定结果表明(图 2)，根瘤蚜侵染增加了葡萄的根系活力，根瘤蚜侵染形成的根结代谢旺盛，作用在于为葡萄根瘤蚜的繁殖提供更多的营养，这与杜远鹏等(2008)的研究结果一致；而 20 和 50 mg/mL 烟草浸提液处理比侵染对照的根系活力分别降低了 2.6% 和 17.6%，原因在于烟草浸提液处理降低了根结数量，从而降低了葡萄根系总体的根系活力。

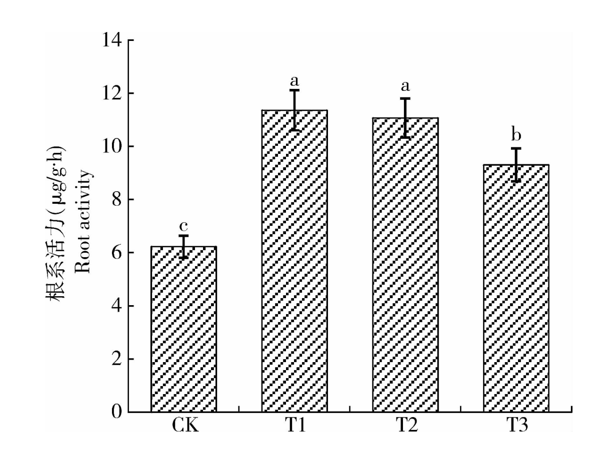


图 2 烟草浸提液对葡萄根系活力的影响

Fig. 2 Effects of aqueous extracts of tobacco on root activity in roots of Kyoho grape

2.2.2 对叶片光合能力的影响：葡萄根瘤蚜侵染显著降低了葡萄的光合能力(图 3)。随着根瘤蚜侵染时间的延长，葡萄叶片光合能力下降，而烟草浸提液处理后，葡萄的光合能力下降较缓和，在处理

后的第 7 -21 天，*Pn* 下降平缓，烟草浸提液处理缓解了根瘤蚜对叶片净光合效率产生的抑制作用。20 和 50 mg/mL 烟草浸提液处理的 *Pn* 明显高于侵染对照，在处理后的第 7 天分别高出 24.3% 和 15.1%，在处理后的第 21 天分别高出 26.44% 和 13.1%。受葡萄根瘤蚜侵染的植株气孔导度 *Gs* 大幅度下降，烟草浸提液处理 0 d 时，20 mg/mL 烟草浸提液处理的葡萄叶片气孔导度比正常葡萄低 16.7%，随着侵染的继续，气孔导度持续下降。烟草处理对气孔导度的影响小于对净光合速率的影响，施药周期结束后，50 mg/mL 烟草浸提液处理的葡萄叶片气孔导度比侵染对照降低 10.6%；而 20 mg/mL 烟草浸提液处理的葡萄叶片气孔导度与侵染对照无明显差异。

叶绿素荧光淬灭分析可以反映叶片对光能的吸收和利用情况。在烟草处理的第 1 天，各处理盆叶片的电子传递速率 *ETR* 呈上升趋势(图 4)，其中，20 和 50 mg/mL 烟草浸提液处理的葡萄叶片 *ETR* 明显高于侵染对照，而随着施药进程的进行，各处理的葡萄叶片 *ETR* 下降，但是 20 和 50 mg/mL 烟草浸提液处理的葡萄叶片 *ETR* 下降量小于侵染对照。而反映非辐射能量耗散大小的非光化学猝灭指标 *NPQ* 与 *ETR* 呈相反的趋势，表明烟草浸提液处理增加了葡萄叶片的电子传递速率，减少了非辐射能量的耗散，一定程度上恢复了叶片对光能的吸收和利用能力，说明烟草浸提液处理可以缓解根瘤蚜对葡萄叶片光合机构造成的胁迫，并且 20 mg/mL 处理效果好于 50 mg/mL 处理。

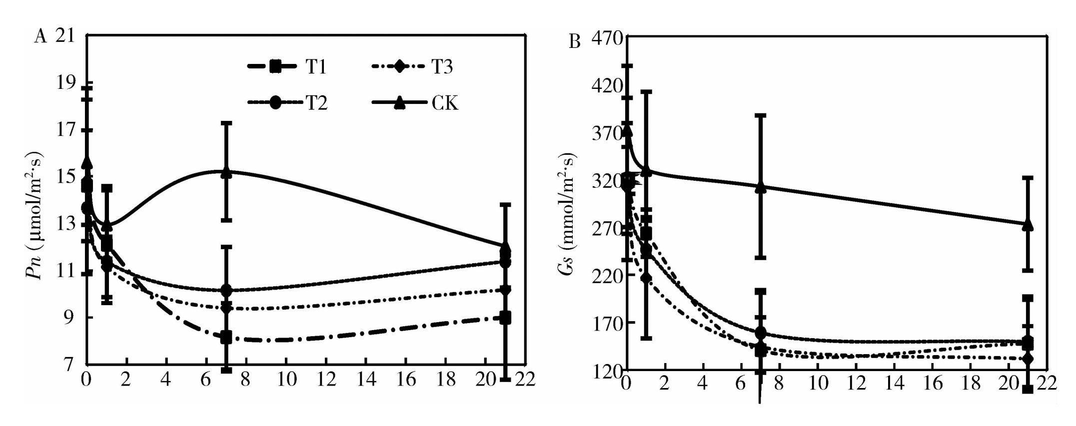


图 3　烟草浸提液对葡萄叶片光合速率 *Pn*(A)和气孔导度 *Gs*(B)的影响

Fig. 3　Effects of aqueous extracts of tobacco on photosynthesis rate (*Pn*) (A) and stomatal conductance (*Gs*) (B) in leaves of Kyoho grape

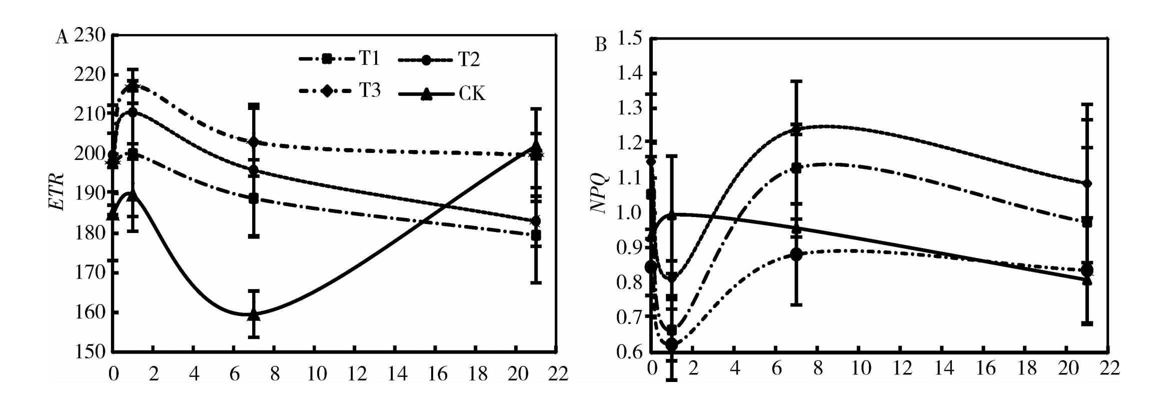


图 4　烟草浸提液对光合电子传递速率 *ETR*(A)和葡萄叶片非光化学猝灭 *NPQ*(B)的影响

Fig. 4　Effects of aqueous extracts of tobacco on electron transport rate (*ETR*) (A) and non-photochemical quenching (*NPQ*) (B) in leaves of Kyoho grape

2.2.3　烟草浸提液对植株生长量的影响：枝条生长状况的测量结果表明，根瘤蚜侵染对葡萄生长有明显的抑制作用(图 5)。烟草浸提液在一定程度上缓解了葡萄根瘤蚜侵染导致的葡萄生长势减弱，表现为 20 mg/mL 烟草浸提液处理后，植株生长量比侵染对照提高了 57.1%，50 mg/mL 烟草浸提液处

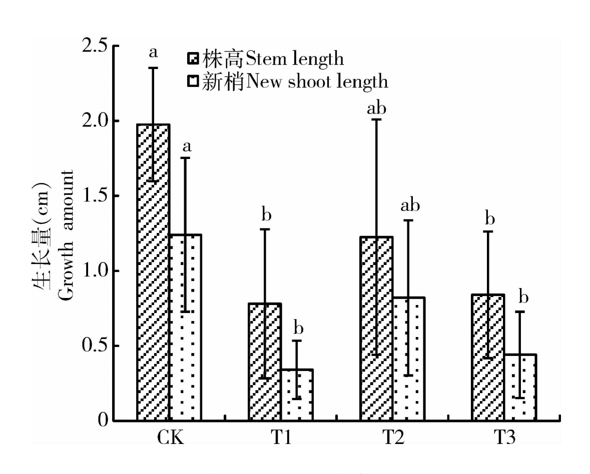


图 5 烟草浸提液处理对葡萄生长量的影响

Fig. 5 Effects of aqueous extracts of tobacco on cane growth amount of Kyoho grapes

理后植株生长量比侵染对照提高了 7.7%；20 和 50 mg/mL 烟草浸提液处理的葡萄新梢生长量分别比侵染对照提高了 141.2% 和 29.4%。

2.3 烟草浸提液对土壤微生物组成的影响

葡萄根瘤蚜侵染后，根系周围土壤中的细菌、真菌和放线菌数量均降低(图 6)，烟草浸提物处理后进一步降低了真菌和放线菌的数量，却小幅度提高了细菌的数量，20 mg/mL 和 50 mg/mL 烟草浸提液分别使土壤中的真菌数量比侵染对照降低了 33.2% 和 33.5%。

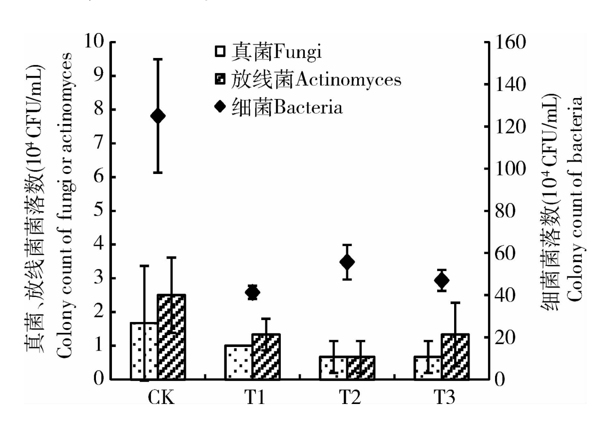


图 6 烟草浸提液对葡萄根系土壤微生物含量的影响

Fig. 6 Effects of aqueous extracts of tobacco on soil microorganisms in the soil around Kyoho grape roots

3 讨论

随着人们对生态环境安全的重视，害虫生物防治的地位越来越高，但是葡萄根瘤蚜生物控制的研究却出乎意料的少。历史上对葡萄根瘤蚜生物控制的研究主要集中在 19 世纪末到 20 世纪中期，1873 年法国引进了一种捕食螨用来控制根瘤蚜，但未成功应用(Kirchmair *et al*., 2009；Gullan and Cranston, 2010)；德国和美国的一些学者使用白僵菌 *Beauveria bassiana* (Granett *et al*., 2001)和绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* (Kirchmair *et al*., 2004)来控制葡萄根瘤蚜，但只有绿僵菌进行了大田试验并成功作为产品推广应用(Huber and Kirchmair, 2007)。我国葡萄根瘤蚜生物防治的报道更加稀少，郭庆(2011)在葡萄园进行间作植物防治根瘤蚜的大田试验，结果表明间作荆芥、黄芪等植株在田间控制根瘤蚜种群和恢复葡萄树势等方面均有一定效果。在本课题组前期的离体实验中，烟草水浸提物对葡萄根瘤蚜表现出较好的控制作用，并已经证明对葡萄根瘤蚜具有控制作用的成分为烟碱。其控制作用主要表现为较高的死亡率，进而减少根瘤蚜的虫口数目，降低侵染造成的根结数目。

显而易见，在葡萄幼树还未完全形成良好的根系系统时，葡萄根瘤蚜的侵染很容易在最初的 3 年内导致树体生长停滞。根结的形成是根瘤蚜构成侵染的第一步，不但敏感的栽培品种极易生成大量根结，一些抗性砧木也往往生成部分根结(Granett *et al*., 2007)。根部根结的数目和根结溃败的比例是反映葡萄根瘤蚜侵染寄主能力和水平的最直接指标。根结数目的升高或降低能够直接说明根瘤蚜侵染能力的增强或抑制。本实验中，烟草浸提液显著降低了葡萄根结数量，说明降低了根瘤蚜的种群数量，直接证明了烟草浸提液对根瘤蚜的侵染有抑制作用；而根结具有征调可溶性糖、氨基酸和淀粉等营养物质和生长素类激素的功能(Kellow *et al*., 2004；杜远鹏等，2008)，是强势营养库(王凤攀，2012)，根结数量的减少使得受侵染植株的根系活力受到明显抑制，进而抑制了根瘤蚜营养库的供应；此外，烟草水浸提物处理的植株生长量(株高和新梢)明显高于侵染对照，地上部葡萄叶片的净光合能力有所恢复，用于光合作用的能量增加，均说明其对根瘤蚜为害有一定缓解作用。

根瘤蚜侵染不但削弱植株根系的输导功能，而且刺吸后的伤口为有害微生物的入侵提供了条件，会导致被害根系进一步腐烂、死亡。本实验发现施用烟草浸提液对土壤中的真菌、细菌和放线菌数目有一定影响，较高浓度的烟草浸提液对 3 种主要种类的微生物含量均有影响，较低浓度的烟草浸提液则主要对真菌和细菌有抑制作用；烟草浸提液对微

生物有控制作用，可以降低根系二次伤害的风险，减小根瘤蚜侵染对植株造成的伤害。

总之，烟草浸提液可以通过降低根瘤蚜种群数量从而降低根结数量，降低土壤中的真菌等微生物数量来减少二次侵染，提高植株光合能力和光能利用能力，最终达到缓解树势衰弱的目的。我国是烟草种植、加工大国，拥有大量的烟草加工工厂，每年产生大量的烟渣。如果这些烟渣能够在根瘤蚜感染区得以利用，就可以达到葡萄园保护和烟渣废弃物利用的双赢。

参考文献（References）

Benheim D，Rochfort S，Robertson E，Potter ID，Powell KS，2012. Grape phylloxera（*Daktulosphaira vitifoliae*）– a review of potential detection and alternative management options. *Annals of Applied Biology*，161：91 – 115.

Du YP，Wang ZS，Yang Y，Zhao Q，Zhai H，Wang ZY，2008. Nodosity formation and nutrition consumption in grape cultivars with different phylloxera resistance and infested by grape phylloxera. *Acta Entomologica Sinica*，51（10）：1050 – 1054.［杜远鹏，王兆顺，杨阳，赵青，翟衡，王忠跃，2008. 根瘤蚜侵染不同抗性葡萄对根结形成及植株营养消耗的影响. 昆虫学报，51（10）：1050 – 1054］

Edwards J，Norng S，Powell KS，Granett J，2007. Relationships between grape phylloxera abundance，fungal interactions and grapevine decline. *Acta Horticulturae*，733：151 – 158.

Granett J，Walker MA，Fossen MA，2007. Association between grape phylloxera and strongly resistant rootstocks in California：bioassays. *Acta Horticulturae*，733：25 – 31.

Granett J，Walker MA，Kocsis L，Omer AD，2001. Biology and management of grape phylloxera. *Annual Review of Entomology*，46：387 – 412.

Gullan PJ，Cranston PS，2010. The Insects：An Outline of Entomology. 4th ed. Wiley-Blackwell Publishing，Oxford.

Guo Q，2011. Using the Intercrop to Control and Real-time PCR Detection of Grape Phylloxera. MSc Thesis，Chinese Academy of Agricultural Sciences，Beijing.［郭庆，2011. 葡萄根瘤蚜的荧光定量 PCR 检测及间种植物防控研究. 北京：中国农业科学院硕士学位论文］

Huber L，Kirchmair M，2007. Evaluation of efficacy of entomopathogenic fungi against small-scale grape damaging insects in soil：experiences with grape phylloxera. *Acta Horticulturae*，733：167 – 171.

Jiang N，Gao WW，Miao JH，2007. Bioactivities of ethanol extracts from leaves of *Sapium sebiferum* to *Meloidogyne incognita*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*，23（11）：305 – 308.［蒋妮，高微，缪剑华，2007. 乌桕乙醇提取物对罗汉果根结线虫的生物活性初报. 中国农学通报，23（11）：305 – 308］

Kellow AV，Sedgley M，Heeswijck RV，2004. Interaction between *Vitis vinifera* and grape phylloxera：changes in root tissue during nodosity formation. *Annals of Botany*，93：581 – 590.

Kirchmair M，Huber L，Porten M，Rainer J，Strasser H，2004. *Metarhizium anisopliae*，a potential agent for the control of grape phylloxera. *BioControl*，49：295 – 303.

Kirchmair M，Neuhauser S，Strasser H，Voloshchuk N，Hoffmann M，Huber L，2009. Biological control of grape phylloxera – a historical review and future prospects. *Acta Horticulturae*，816：13 – 17.

Omer AD，Granett J，De Benedictis J，Walker MA，1995. Effects of fungal root infections on the vigor of grapevines infested by root-feeding grape phylloxera. *Vitis*，34：165 – 170.

Wang FP，2012. Physiological and Biochemical Reaction of Susceptible Grape Cultivars Infected by Root-knot Nematode. MSc Thesis，Shandong Agricultural University，Tai'an，Shandong.［王凤攀，2012. 敏感型葡萄品种对根结线虫侵染的生理生化反应. 山东泰安：山东农业大学硕士学位论文］

Wang JH，Zhao XB，Xu XL，Tooru K，Minoru N，2005. Effect of 15 insecticidal plant leaves on southern root knot nematode and vegetable growth. *Acta Horticulturae Sinica*，32（3）：448.［王晋华，赵肖斌，徐小利，北上达，西野富，2005. 15 种杀虫植物叶片对南方根结线虫防治效果及对蔬菜生长影响初报. 园艺学报，32（3）：448］

Weng QF，Zhong GH，Wang WX，Luo JJ，Hu MY，2006. Effectiveness of plant extracts for the control of *Meloidogyne incognita*. *Journal of South China Agricultural University*，27（1）：56 – 60.［翁群芳，钟国华，王文祥，罗建军，胡美英，2006. 植物提取物对南方根结线虫的控制作用. 华南农业大学学报，27（1）：56 – 60］

Xia D，2005. Development and Application of Nicotine Extracted from Plant as a Pesticide Used in Aquaculture. MSc Thesis，Nanjing Agricultural University，Nanjing.［夏冬，2005. 水产用植物源杀虫药物——烟碱的应用开发研究. 南京：南京农业大学硕士学位论文］

Yu J，2008. Effect and Toxic Constituents of *Bacillus thuringiensis* 010 with Nematicidal Activity. PhD Dissertation，Fujian Agriculture and Forestry University，Fuzhou.［余洁，2008. 苏云金芽胞杆菌杀线虫菌株的筛选及其活性因子研究. 福州：福建农林大学博士学位论文］

Zhao SJ，Shi GA，Dong XC，2002. Techniques of Plant Physiological Experiment. China Agricultural Science and Technology Press，Beijing. 45 – 48，142 – 143.［赵世杰，史国安，董新纯，2002. 植物生理学实验指导. 北京：中国农业科学技术出版社. 45 – 48，142 – 143］

Zhou DQ，2006. Experimental Microbiology. Higher Education Press，Beijing.［周德庆，2006. 微生物学实验教程. 北京：高等教育出版社］

（责任编辑：赵利辉）